

特 別 講 演

(13:10~14:00)

司 会 : 岡 二三生

「土質力学研究委員会報告」および
「土の変形と破壊—その統一的な理解」

名古屋工業大学 松 岡 元

土質力学研究委員会報告

名古屋工業大学 正会員 松岡 元

開催日	話 題	話 し 手
第1回 平成元年12月9日(土)	土の構造と力学との接点	小田 匡寛 (埼玉大学)
第2回 平成2年1月27日(土)	粘土の物性と土質工学	嘉門 雅史 (京都大学)
第3回 平成2年3月10日(土)	不飽和土用構成式の模索 不飽和浸透と土の力学	軽部 大蔵 (神戸大学) 宇野 尚雄 (岐阜大学)
第4回 平成2年5月12日(土)	土における有効応力の原理	岡 二三生 (岐阜大学)
第5回 平成2年7月14日(土)	有効応力原理と土質力学	浅岡 顕 (名古屋大学)
第6回 平成2年9月22日(土)	海洋土質力学における二、三の話題	関口 秀雄 (京都大学)
第7回 平成2年11月10日(土)	土質力学と逆解析	荒井 克彦 (福井大学)
第8回 平成3年1月19日(土)	軟弱地盤の変形解析	太田 秀樹 (金沢大学)
第9回 平成3年3月15日(金)	最近の補強土工法について	龍岡 文夫 (東京大学)
第10回 平成3年6月8日(土)	土の変形と破壊—その統一的な理解	松岡 元 (名古屋工業大学)

土質力学研究委員会委員名簿

幹事委員

氏名 (委員長)	勤務先		住 所	電話番号
松岡 元	名古屋工業大学社会開発工学科	466	名古屋市昭和区御器所町	732-2111
浅岡 顕	名古屋大学工学部土木工学科	464-01	名古屋市千種区不老町	781-5111
阿部 広史	信州大学工学部社会開発工学科	380	長野市若里 500	(0262)26-4101
板橋 一雄	名城大学理工学部土木工学科	468	名古屋市天白区塩釜口 1-501	832-1151
大河原 孝	応用地質中部支社	463	名古屋市守山区瀬古中の島 102	793-8321
大塚 悟	名古屋大学工学部地盤工学教室	464-01	名古屋市千種区不老町	781-5111
大野 研	三重大学生物資源学部農業土木学講座	514	津市上浜町	(0592)32-1211
岡 二三生	岐阜大学工学部土木工学科	501-11	岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
奥村 哲夫	愛知工業大学工学部土木工学科	470-03	豊田市八草町八千草 1247	(0565)48-8121
河邑 眞	豊橋技術科学大学工学部建設工学系	440	豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘 1-1	(0532)47-0111
京谷 孝史	名古屋大学工学部地盤工学教室	464-01	名古屋市千種区不老町	781-5111
桑山 忠	大同工業大学工学部建設工学科	457	名古屋市南区白水町 40	612-5571
河村 精一	中部電力技術開発本部電力技術研究所	459	名古屋市緑区大高町字北関山 20-1	621-6101
小西 純一	信州大学工学部社会開発工学科	380	長野市若里 500	(0262)26-4101
中井 照夫	名古屋工業大学社会開発工学科	466	名古屋市昭和区御器所町	732-2111
山田 公夫	中部大学工学部土木工学科	487	春日井市松本町 1200	(0568)51-1111

一般委員(一般聴講者)

氏名	勤務先		住 所	電話番号
相京 博幸	清水建設名古屋支店土木技術部	460	名古屋市中区錦 1-3-7	
相山 外代司	川崎地質名古屋支店	465	名古屋市名東区藤ヶ丘 140-1	775-6411
青島 泉	J R 東海建設工事事務部土木工事課	453	名古屋市中村区椿町 21-2	452-7758
青山 利徳	名古屋港管理組合建設部	455	名古屋市港区入船 1-8-21	661-4111
阿部 暢夫	富士開発	464	名古屋市千種区唐山町 3-30	
荒川 真司	中部土質試験共同組合	465	名古屋市名東区藤森西町 202	775-2483
有田 勝	総合技術コンサルタント	459	名古屋市緑区大高町東山 16-43	
有村 貴織	(株)アイエスシー	460	名古屋市中区千代田 5-20-10	
飯岡 浩	富士開発(株)	464	名古屋市千種区唐山町 3-30	781-5871
伊藤 俊哉	イトー設計(株)		名古屋市港区金船町 1-1-10	651-2271
伊熊 俊幸	(株)ダイヤモンドソルユット	456	名古屋市熱田区金山町 1-6-12	
今井 重光	セントラルコンサルタント	453	名古屋市中村区椿町 21-9	451-6691
今村 治				
岩木 宏				
植下 協	名古屋大学工学部地盤工学教室	464-01	名古屋市千種区不老町	781-5111
上村 克巳	矢橋工業(株) 開発部	503-22	大垣市赤坂町大久保 4278-1	(0584)71-0555
内園 立男	富士開発	464	名古屋市千種区清明山 1-6-9	711-5092
内田 孝治	ハイウェイエンジニア	460	名古屋市中区栄 1-7-33	232-1891
内山 敬士	愛知県土木部河川課	460	名古屋市中区三の丸 3-1-2	961-2111
宇野 尚雄	岐阜大学工学部土木工学科	501-11	岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
浦野 新治	富士開発(株)	464	名古屋市千種区唐山町 3-30	781-5871
江坂 成利	中日本建設コンサルタント	450	名古屋市中村区名駅 5-4-14	571-8441
榎本 雅夫	信州大学工学部社会開発工学科	380	長野市若里 500	(0262)26-4101
太田 裕治郎	近畿日本鉄道名古屋営業局施設部土木部	510	四日市市鶴森 1-16-11	(0593)54-7014
大野 富男	(株)日建設計	460	名古屋市中区栄 4-15-32	261-6136
大橋 正	基礎地盤コンサルタント技術課	451	名古屋市西区上名古屋 1-11-5	522-3171
大本 修	東海農政局建設部建設課	460	名古屋市中区三の丸 1-2-2	201-7271
岡田 富士夫	名城大学理工学部土木工学科	468	名古屋市天白区塩釜口 1-501	832-1151
岡本 利朗	玉野総合コンサルタント	464	名古屋市千種区豊年町 9-20	
奥 要治	日本電信電話東海都市土木センター	461	名古屋市東区矢田南 3-2-5	
奥田 昌男		468	名古屋市天白区梅が丘 3-1412	
奥村 千衛	東京エンジニアリング	453	名古屋市中村区大閘 1-1-14	251-2671
尾畑 和彦	中部電力技術開発本部電力技術研究所	459	名古屋市緑区大高町字北関山 20-1	621-6101
笠井 利貴	大日本コンサルタント	450	名古屋市中村区名駅南 1-18-19	581-8993
香西 稔	飛鳥建設(株)名古屋支店	460	名古屋市中区大井町 6-14	321-4857
加藤 直樹				

氏名	勤務先	住 所	電話番号
加藤 久樹	三興コロイド化学(株)技術開発部	481 愛知県西春日井郡西春町中の郷北 109	(0568)21-0012
金岡 正信	大阪産業大学工学部土木工学科	574 大阪市中垣内 3-1-1	
角川 幸男	前田工繊(株)		
亀田 茂男	大成建設名古屋支店土木部	460 名古屋市中区栄 2-3-1	204-3111
加茂 友裕	鹿島建設名古屋支店	460 名古屋市中区新栄町 2-14	
川瀬 泰裕	不動建設技術開発室	110 東京都台東区台東 1-2-1	(03)837-6002
木野村 修	日本鉄道建設公団名古屋支社	460 名古屋市中区栄 1-6-14	
木村 正樹	応用地質(株)名古屋支店	463 名古屋守山区大字瀬古字中島 102	793-8321
金 廣参			
日下部 伸	奥村組筑波研究所地盤研究室	300-33 つくば市大砂 387	(0298)65-1521
黒沼 卓夫	小野田ケミコ(株)名古屋支店	460 名古屋市中区錦 2-15-22	232-1736
熊谷 明芳	片平エンジニアリング	460 名古屋市中区栄 5-22-7	251-5125
倉橋 孝	静岡県土木部道路建設課	420 静岡市追手町 9-6	
小島 月男	日本鉄道建設公団名古屋支社	460 名古屋市中区栄 1-6-14	
小斉 吉光	静岡コンサルタント技術室	411 静岡県三島市多呂 128	(0559)77-8080
向後 雄二	農林水産省農業工学研究所	305 筑波市観音台 2-1-2	
甲田 善生	三興コロイド化学(株)	481 愛知県西春日井郡西春町中の郷北 109	
古賀 健一	鹿島建設(株)名古屋支店	460 名古屋市中区新栄町 2-14	
小松 秀一	日本電信電話(株)	461 名古屋市中区東区矢田南 3-2-5	
酒井 一幸	新日本技術コンサルタント	461 名古屋市中区東区泉 4-27-14	937-6610
坂井田 敏弘	大日本土木名古屋支店	460 名古屋市中区栄 1-7-33	231-6861
榊 祐介	アオイ地質	462 名古屋市中区北区清水 1-22-17	951-6371
佐藤 健	岐阜大学工学部土木工学科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
佐藤 嘉平	名古屋道路 エンジニアリング	460 名古屋市中区栄 1-7-33	
沢岷 英光	梶谷エンジニア	461 名古屋市中区東区榑木町 1-2	962-6678
塩谷 浩英	パシフィック コンサルティング	450 名古屋市中村区名駅 4-26-25	581-9680
重松 伸也	オリエンタル コンサルティング	453 名古屋市中村区椿町 15-21	452-8621
渋水 雅良	応用地質中部支社	463 名古屋守山区瀬古中の島 102	793-8321
清水 英良	岐阜大学農学部生物生産システム科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
白村 暁	愛知県土木部河川課	460 名古屋市中区三の丸 3-1-2	961-2111
神保 吉克	J R東海工務部施設課	450 名古屋市中村区名駅 1-1-4	564-2486
菅野 安男	基礎地盤コンサルタント	451 名古屋市中区西区上名古屋1-11-5	522-3171
杉井 俊夫	岐阜大学工学部土木工学科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
杉江 茂彦	大林組技術研究所	204 東京都清瀬市下清戸 4-640	
杉村 昌広	名古屋大学工学部地盤工学教室	464-01 名古屋市中区千種区不老町	781-5111
鈴木 豊	中部電力(株)土木建築部	461 名古屋市中区東区東新町 10-1	
瀬木 慧	ハイウェイエンジニア	460 名古屋市中区栄 1-7-33	232-1891
僧理 栄司	中日本建設コンサルタント	450 名古屋市中村区名駅 5-4-14	571-8441
芹生 正巳	大阪産業大学工学部土木工学科	574 大阪市中垣内 3-1-1	
園田 昭二	中央開発(株)中部支社	453 名古屋市中村区牛田通 2-16	
大東 憲二	名古屋大学工学部地盤工学教室	464-01 名古屋市中区千種区不老町	781-5111
高木 利男	東海地質コンサルタント	460 名古屋市中区栄 4-21-17	251-8521
竹居 信幸	東邦地水	510 四日市市東新町 2-23	(0593)31-7311
竹内 研	片平エンジニアリング	460 名古屋市中区栄 5-22-7	251-5125
竹岡 由積	矢作建設工業(株)	461 名古屋市中区葵 3-19-7	
竹島 立男	大日本プラスチック(株)	541 大阪中央区淡路町 2-1-3	
竹田 逸郎	名古屋道路エンジニアリング	460 名古屋市中区栄 1-7-33	
立石 卓彦	日本技研(株)システム開発室	460 名古屋市中区千代田 2-16-10	261-1321
田中 勉	神戸大学農学部農業工学科	657 神戸市灘区六甲台町 1	(078)881-1212
田中 三好	住宅都市整備公団中部支社住宅再開発部	460 名古屋市中区栄 4-3-26	252-2110
田中 理博	名古屋道路エンジニアリング	460 名古屋市中区栄 1-7-33	
田村 伴次	名古屋港管理組合建設部	455 名古屋市中区港区入船 1-8-21	661-4111
柄田 彰司	前田工繊(株)		
勅使川原誠司	中部大学工学部建築学科	487 春日井市松本町 1200	(0568)51-1111
月館 端寛	日本技研 技術研究所調査部	470-02 愛知県西加茂郡三好町大字三好字西之木戸1	
辻 正	川崎地質名古屋支店	465 名古屋市中区東区藤ヶ丘 140-1	775-6411
土山 茂希	中部電力奥美濃水力建設所	501-15 岐阜県本巣郡根尾村東坂屋跡路 192	(058138)3111
堤 安希佳	オリエンタル コンサルティング	453 名古屋市中村区椿町 15-21	452-8621

氏名	勤務先	住所	電話番号
鶴岡 芳博	イトー設計(株)	455 名古屋港区金船町 1-1-10	651-2271
寺田 賢二郎	清水建設(株)名古屋支店	460 名古屋市中区錦 1-3-7	
寺本 博巨	富士エンジニアリング	464 名古屋千種区池下 1-11-21	763-1616
徳川 和彦	パシフィックコンサルタンツ	450 名古屋市中村区名駅 4-26-25	581-9680
外山 進一	運輸省第5港湾建設局	455 名古屋港区築地町 2	651-6261
鳥居 和之	金沢大学工学部	920 金沢市小立野 2-40-20	(0762)61-2101
内藤 齊	中部電力(株)土木建築部	461 名古屋市東区東新町 10-1	
長嶋 秀昭	若鈴コンサルタンツ(株)技術第二部	452 名古屋市西区歌里町 349	501-1361
長嶋 義隆	イトー設計(株)	455 名古屋港区金船町1-1-10	651-2271
長縄 直樹	東京(株)名古屋支店土木部技術課	450 名古屋市中村区名駅 2-40-2	571-6431
中根 千年	富士エンジニアリング(株)	464 名古屋千種区池下1-11-21	763-1615
仲野 良紀	岐阜大学農学部生物生産システム科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	(0582)30-1111
中村 紀良	国際航業	460 名古屋市中区栄 2-11-7	201-1391
成田 国朝	愛知工業大学土木工学科	470-03 豊田市八草町八千草 1247	(0565)48-8121
西形 達明	関西大学工学部土木工学科	564 吹田市山手町 3-3-35	
西村 友良	足利工業大学土木工学科	326 栃木県足利市大前町 268-1	(0284)62-0605
橋口 幸正	三祐コンサルタンツ	460 名古屋市中区錦 2-15-22	201-8763
長谷川 幸洋	飛鳥建設(株)土木部設計課	460 名古屋市中区大井町 6-14	
長谷部 宣男	名古屋工業大学社会開発工学科	466 名古屋昭和区御器所町	732-2111
服部 久義	中部復建	466 名古屋昭和区福江 1-1805	882-6611
早川 日出男	川崎地質名古屋支店	465 名古屋名東区藤ヶ丘 140-11	775-6411
林 保志	(株)構造計画研究所土木技術部	164 東京都中野区本町 4-38-13	(03)3382-6768
日置 晴夫	三祐コンサルタンツ	460 名古屋市中区錦 2-15-22	201-8763
平塚 英樹	国際航業	460 名古屋市中区栄 2-11-7	201-1391
深津 基之	矢作建設工業(株)土木本部	461 名古屋市東区葵 3-19-7	
藤川 恵司	中部電力碧南火力建設事務所	447 碧南市港南町 2-8-2	(0566)48-5581
藤原 克己	名古屋港管理組合計画部調整課	455 名古屋港区入船 1-8-21	661-4111
舟戸 一勝	若鈴コンサルタンツ(株)	452 名古屋西区歌里町 349	501-1361
細川 雅人	小野田ケミコ(株)名古屋支店	460 名古屋市中区錦 2-15-22	232-1736
細堀 建司	基礎地盤コンサルタンツ	451 名古屋西区上古屋 1-11-5	
堀口 大輔	(株)浅沼組大阪本店	543 大阪市天王寺区東高津町 12-6	(06)768-5222
前田 眞次	大林組碧南JV工事事務所	447 碧南市港南町 2-8-2	
牧野 敏行	玉野総合コンサルタント	453 名古屋市中村区竹橋町 4-5	452-1301
松本 元	応用地質中部支社	463 名古屋守山区瀬古中の島 102	793-8321
丸井 英明	新潟大学積雪地域災害センター	950-21 新潟市五十嵐二の町 8050	025-262-7055
水谷 俊孝	中部電力土木建築部	461 名古屋市東区東新町 10-1	951-8211
水谷 法美	名古屋大学工学部土木工学教室	464-01 名古屋千種区不老町	
水野 昇	ハイウェイエンジニア	460 名古屋市中区栄 1-7-33	232-1891
南 良則	鹿島・清水・大林JV(東邦)四日市工場工事	510 三重県四日市市霞 1-22	(0593)65-0184
宮園 正敏	建設技術研究所	450 名古屋市中村区名駅 4-8-12	581-1982
宮田 和	清水建設技術開発本部	108 東京都港区芝浦一丁目 2-3	
三輪 一弘	J R 東海 鉄道事業本部	450 名古屋市中村区名駅 1-1-4	
村上 宗隆	J R 東海鉄道事業本部公務部施設課	450 名古屋市中村区名駅 1-1-4	564-2486
森 一四	アイエスシイ	460 名古屋市中区千代田 5-20-10	
森崎 泰隆	岐阜大学工学部土木工学科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	
八嶋 厚	岐阜大学工学部土木工学科	501-11 岐阜市柳戸 1-1	
矢野 雄二	玉野総合コンサルタント	453 名古屋市中村区竹橋町 4-5	452-1301
山口 洋平	カッターコンサルタンツ津支店第2設計部	514 津市上浜町 5-64-6	
山下 勝正	アローコンサルタンツ	500 岐阜県岐阜市西鶉 3-65-1	(0582)75-2517
山本 秀夫	水資源開発公団中部支社建設部第一建設課	460 名古屋市中区三の丸 1-2-1	231-7541
山本 美博	J R 東海建設工事部土木工事課	453 名古屋市中村区椿町 21-2	452-7758
横井 昭彦	総合技術コンサルタント	460 名古屋市中区栄 4-16-8	242-1219
吉村 優治	岐阜工業高等専門学校土木工学科	501-04 岐阜県本巣郡真正町	(0583)24-1101
吉田 泰三	オリエンタルコンサルタンツ	453 名古屋市中村区椿町 15-21	452-8621
和田 弘	梶谷エンジニア中部支社	461 名古屋市東区榎木町 1-2	
渡辺 浩	朝日土質	500 岐阜市須賀 4-21-17	(0582)75-1061

(以上 167名)

第1回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成元年12月9日(土)

場所：名古屋工業大学

話し手：小田匡寛(埼玉大学工学部)

題目：土の構造(Fabric)と力学の接点

配布資料：構造(Fabric)と力学の接点

出席者：59名

討議司会：小西純一(信州大学工学部)

Q: ひずみレベルが大きくなる残留状態では粒子の卓越方向などの構造はどうなっているのか。初期構造の効果などは無くなるのではないか。

A: ある部分ではピーク強度の状態の構造がそれ程大きな変化を示さずに維持され、また、別の部分では粒子の再配列が起こって初期の構造の特徴が希薄になっている様である。粒状体の場合そうした部分が残留状態の応力-ひずみ関係を支配していると思われる。

Q: ピーク強度が出ている1%程度のひずみレベルでは、砂の場合、粒子の大きさから考えて粒子は動き様がなく初期構造はほとんど変化しないと考えるか。

A: その通りである。残留状態ではトータルのひずみはそれ程小さくなくとも局所的には非常に大きなひずみが生じており、粒子の回転が起こって初期構造は失われているが、ピーク強度の付近では粒子はほとんど動かず初期の構造が残されている。したがって、初期構造を反映した異方性が現れる。平面ひずみ状態では変形に対する拘束が大きいため構造を反映した異方性が強く現れ、同じ構造でも三軸試験では粒子の動きに対する拘束がやや弱まるために、異方性は平面ひずみ状態よりも強くは現れない傾向にある。

Q: 平面ひずみの場合、粒子の長軸の卓越方向に対して 30° 程度の方向が強度が最小になっている。 A_{11} という量を導入して構造を特徴づけているが、 A_{11} ではそのことを説明できないのではないか。

A: 基本的には A_{11} を用いたカーブフィッティングなのでそれは自由に表現できる。

Q: それでは、 30° で最小になるということを実験を行って決めなければならないのならば、利用価値は無いことになる。簡単な実験でパラメータが決定できて、そのことを予測できるのならば利用価値は大きい。その点についてはどうか。

A: そういう指摘はもっともなことである。しかし、そこまでは実際のところ考えていない。 A_{11} といった様なテンソル量を導入したのは、粒状体の構造が変形・強度特性にどの様に効いているかを表現したいというところであって、砂に対してその様な量を定めることにより、あとは数値計算で挙動が予測できることを期待しているのである。実際に使うということならばもっと簡単な関数で挙動を表現した方が良いのかも知れない。

Q: 必要なパラメータを決めるには何通りの実験が必要か。

A: パラメータは2つなので2通りである。

Q: しかし 30° で最小になることを言うためには2点では具合が悪いのではないか。

A: その通りである。その場合にはもう少しパラメーターが必要になる。

Q: A_{11} は砂の粒子の長軸方向の配列のみに注目した量である。砂の力学特性には粒度分布や密度といったその他の要因も大きく影響していると思われるが、そういった影響はどの様に評価されるのか。

A: これは標準砂を空中落下させて作った試料を対象としており、その場合には突固めの影響などもある程度分かっている。ただし、自然にある砂の粒子形状や粒度分布の影響はどうか、あるいは水締めした場合などはどうか等については何も分ってはいない。むしろ、構造がどの様に効いているのかを粒度分布などの性質が良く分った砂で調べると、 A_{11} といった様なテンソル量で表現し得る様な効果があると理解して欲

しい。現場では砂については標準貫入試験さえあれば良いと言った意見もあり、こうした話は甚だ頼りない感じがするが、しかし、土質力学は実際に使えれば良いというだけでなく実際にある現象がどうして起こるのかなどの学問的興味と、現象に対する深い理解が結局は実務でも役に立つということをこの研究では期待している。

Q:それは物性論的な発想と言って良いか。

A:その通り。力学現象に対するこうした理解が、実際において力学に矛盾する様な考え方に警鐘を鳴らすことができれば良いと考えている。

Q: A_{1j} に含まれていない粒度分布、詰め方、粒子形状、粒子が破壊されないことなどの要因の内、はっきりさせておかないと、 A_{1j} の決定およびそれを用いた力学モデルの予測結果を大きくばらつかせることになる要因はどれか。

A:それは粒子形状と詰め方であろう。特に骨格を形成する大きめの粒子の形状が重要である。

Q:粘土を対象とした巨視的力学モデルでは、例えば関口・太田モデルの様に粘土の初期構造の影響を表す初期応力パラメータが導入されている。また、必要とあれば移動硬化則の併用など、目的とする挙動を表現する手段は連続体力学の枠内で準備されている。述べられたモデルの未知パラメータの数は従来の弾塑性モデルとほぼ同じである。従来の弾塑性モデルでは、顕微鏡を覗くことなく粒子配列の成す構造の影響などを表現しうる連続体モデルを作っていると解釈している。述べられたモデルではそれと同等のパラメータをよりリアルな粒子の配列状態を表すものに求め、それを従来のCam-clayモデルに導入して新しいモデルを構築しているが、立脚している力学的な視座はマイクロな立場の粒状体力学にあるのか、従来からの巨視的弾塑性理論にあるのか、力学の立場におけるヒエラルキーのどの位置に立ったものであるのかを伺いたい。

A:弾性学、弾塑性学は土質力学に大きく貢献してきており主流の分野である。それに対して粒状体力学は萌芽的段階にあってこれから土質力学に貢献しようかという新しい分野であり、それらと同等の立場にあるとは思っていない。自分は決して粒状体力学の専門家であるとは思っていないが、粒状体力学がそうになって欲しいと思う一人である。自分の立場は、それらの分野の中で閉じ込めて考えるのではなく、それらを結ぶものを考えたいと思っている。紹介したモデルは粒状体力学の立場から、弾塑性学へキャッチボールのボールを投げた様なものである。こうした方法のうちに、巨視的モデルにおいて分かりにくかった関口・太田モデルにおける初期応力パラメータ等の具体的なイメージが明らかになることを望むものである。

Q:現在、地盤の変形係数を計るのに、ボーリング抗内で水平方向の載荷を行って変形係数を求め、鉛直方向の変形係数に関してはそれを何倍して評価すれば良いのかが問題となっているが、どう考えれば良いのか。

A:非常に難しい問題である。ボーリングの方向が変形係数に影響を及ぼすことは大いに考えられる。実験では2倍から5倍まで非常に大きく変動することは分かっているが、評価した経験を持たないのではっきりしたことは言えない。

Q:微視的な構造を表現するパラメータを用いて土や砂の挙動を解明しようという目的は理解できる。しかし、実際の挙動予測に用いようとするには、結局それらのパラメータを決定するという困難な作業を行わなければならない。とすると、そうした微視的な構造に注目するといった研究のメリットはどこにあるのか。

A:土の構造は圧密降伏応力の様に我々が土から読み取れる土の顔である。その様な特徴を読み取ってそれが土の挙動とどの様に結び付いているかを考えることが、土の性質を深く理解するのに役立つのではないかと期待している。このことに関しては今日前半に話した岩盤のクラックテンソルのほうが実用化に近い段階にあり、構造を取り込んだモデルの考え方としては理解してもらい易いと思う。

Q:クラックの大きなものだけに注目した方がモデルとしては性質の良いものになるのではないか。

A:その通りである。クラックテンソルで言えばクラックの大きさは r^3 でパラメータとして入っており、実際には大きなものが効くという構造になっている。実際には、対象とする領域においてどの程度の大きさのクラックを問題とするかということが工学的判断として重要である。非常に大きなクラックが存在する場

合にはジョイント要素などを併用した方が良いと考えている。

第2回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成2年1月27日（土）

場所：名古屋工業大学

話し手：嘉門雅史（京都大学工学部）

題目：粘土の物性と土質工学

配布資料：1) 土の物理化学的性質, 土と基礎, 37-12, pp. 38-41, 1989

2) 粘土の微視的せん断挙動, 土木学会第42回年次講演会, pp. 10-11, 1987

3) 粘性土の変形機構の微視的観察, 土木学会第44回年次講演会, pp. 408-409, 1989

4) 大阪湾海成粘土のペレット出現特性とその土質工学的性質への影響, 土質工学会論文報告集, Vol. 29, No. 2, pp. 181-189, 1989

出席者：58名

討議司会：中井照夫（名古屋工業大学工学部）

=====
Q: 埋立地の沈下について地震動の影響をどの様に考えれば良いか。ペレットの存在はどのような影響を及ぼすのか。

A: 自然堆積におけるゆっくりした堆積は、ペレットのセメンテーションの速度とバランスしており粘土は安定している。問題は埋め立てにおける載荷速度の違いである。載荷速度が早い場合にはペレットによる沈下も考えられる。

地震動による粘土の沈下は問題にならないと考える。洪積粘土では加速度の増幅はあまり見られない。沖積層では増幅はあるが、埋め立てをすれば拘束していることになる。液状化についても洪積粘土は起こらない。ただし、沖積粘土の低盛土は問題となるかもしれない。

Q: 粘土のダイレイタンスの正負と間隙比との関係はどうなっているのか。

A: 正規圧密と過圧密の違いと考えれば良いと思う。間隙比が大きければ圧縮、小さければダイレイタンスを起こす。

Q: ある現場で鋭敏な粘土に矢板を打ち込んだところ矢板に大きな変形が生じた。矢板の押し込みによるせん断すべりに伴うダイレイタンスの影響かとも思われるがどうか。

A: ダイレイタンスでは説明はつきかねる。

Q: 沖積粘土上の埋め立て埠頭では埋立地上の荷重（コンテナ）は搬入・搬出が頻繁で一定荷重ではない。その様な場合、沖積粘土の沈下をどの様に推定したら良いのか。

A: コンテナの載荷面積が問題。それはどうなっているか。

Q: 埠頭全体にわたって4段積みの状態にある。

A: 盛土を通じて沖積粘土に伝えられている分散荷重がどの程度であるかを評価して、沈下量を計算することになるであろう。大阪湾岸の高速道路工事で現在埋め立て地に高速道路の塀を作っているが、載荷幅が小さい場合は影響ないようである。

Q: 荷重状態はランダムであるが、最大1m²当り5～6tになる。また直下の沖積層の厚さは10m程度である。

A: 荷重の繰り返しをどう考えるかは設計者次第であるが、最大の状態を考えれば良いのではないだろうか。

Q: 資料4) 図2にペレットの存在と含水比の関係が示されているが、含水比の曲線は中央が凸の状態にある。これが定常状態だとすると、どうしてその様になるのか。

- A: 気候変動による海進・海退の影響である。暑い時期には海進により（例えば縄文海進の頃）、沿岸部には細かい粒子の粘土が堆積し、含水比、液性限界が共に大きい層が形成される。寒くなって海退すると粒子が大きな粘土、砂などが堆積して含水比の小さな層が形成される。この様なことが繰り返された結果、弓形の含水比曲線が得られる。この様な含水比の分布は暖寒の繰り返しがあった第四紀の特徴である。こうしたパターンは大阪湾では見られるが東京湾では見られない。
- Q: 資料3) 図2で微視的なせん断に伴うダイレイタンスーが小さいことが示されているが、実際はせん断面が内部で発生してダイレイタンスーがどこかで吸収されている可能性はないか。
- A: 表面的にはダイレイションは小さい。内部の動きは見る事ができないのでわからない。表面の変位が内部までを表しているとは思わない。表面で観察できるマクロな量には直接結び付かないことは確かである。
- Q: せん断箱でせん断した場合、せん断面はいくつも現れるのか。
- A: 現れる場合もあるが、あまりそういうことはなく一つの場合が多い。しかし、いつも同じ所に現れるわけではない。
- Q: 土のミクロな現象とマクロな現象をつなぐのが土質力学における一つの目的と考えている。表面の動きからでも内部を洞察する必要があると思う。粘土の場合、ミクロ、マクロのダイレイタンスーの違い、内部の動きと表面上の動きが違う理由をどう考えるか。
- A: 乾燥試料ではミクロ、マクロの挙動は一致している。湿潤試料では実験中真空状態に置くための表面乾燥の影響があるのかもしれない。
- Q: 堆積面に対して平行な場合と垂直な場合といった様に、せん断の方向によってせん断挙動、ダイレイタンスーはどの様に違うか。
- A: 堆積面に対して30°くらいの方向でせん断した場合が最も弱いようである。
- Q: 砂と粘土は本質的にどこが違うのか。強度特性に物理化学的特性はどの様に関与しているのか。
- A: コンシステンシー特性、密度特性が違う。一次的特性としては、砂では粒径、密度、詰まり方（配列）が重要。粘土では密度ではなく水との相互作用で決まる。二次的的特性としては骨組み構造の違いが挙げられる。粘土では粒子どうしがくっついている。
- Q: どうして粘土粒子どうしはくっつくのか。
- A: 粒子鉱物の形とイオンの関係である。
- Q: 粘土を定義するのに5 μ 以下の粒子から成るものとして良いか。
- A: 粘土の定義には3通りある。1つ目は粘土鉱物を含み水があると塑性を示すものとする、2つ目は粘土鉱物のみから成るものとする、3つ目は5 μ または2 μ 以下の粒子から成り粘土鉱物を多く含むものといった具合である。
- Q: 乾燥粘土は砂とどう違うか
- A: 同じである。
- Q: シルトとは何か。
- A: 見かけは粘土、性質は砂と同じである。日本では粒径のみで分けている
- Q: 粘土の物理化学的性質は透水係数にどの様に関与するか。
- A: 界面活性の違いが透水係数に関与する。
- Q: 粘土のボンドは、界面活性によるものかセメンテーションか。
- A: セメンテーションには時間経過が必要である。ボンドがどちらによるか詳細は分っていない。

第3回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成2年3月10日（土）

場所：名古屋工業大学

話し手：軽部大蔵（神戸大学工学部）
宇野尚雄（岐阜大学工学部）

題目：不飽和土の応力・ひずみ関係概説（軽部）
不飽和浸透と土の力学（宇野）

配布資料：1)不飽和土の応力・ひずみ関係概説
2)不飽和浸透と土の力学
3)不飽和地盤の保水・浸透の考察
4)不飽和土の透水試験に関するアンケート結果

出席者：46名

討議司会：岡 二三生（岐阜大学工学部）

=====

Q:不飽和土の構成式に p, q と $f(s)$ を用いているが、含水比すなわち飽和度が違う場合にも $f(s)$ で表される影響は同じか。また、境界値問題に対してどの様に構成式を用いるのか。

A:確かに含水比、水の出入りといった問題は自分のモデルでは考えていない。同じサクションでも含水比に開きがある。サクションは現場で計り易い。また、含水比はよくばらつくがサクションはあまりばらつかないタフな量である。サクションと土の力学は1対1の関係がある様な気がする。含水比にはこだわらない方がよいのではないか。飽和度が違ってもサクションが同じであれば不飽和土の力学特性はあまり変わらないと考えている。ただし、間隙比があまりに異なる場合は話は変わる。

Q:実際の不飽和土中の空気の動きをどの様に考えるのか。

A:空気は動き易い。ただし、その影響はよく分からないというのが正直なところである。

Q:構成則中の $f(s)$ はビショップの有効応力と同じ働き、もしくは降伏曲面の変化などを表すものか。資料中の図14の直線関係を用いてモデルを誘導していると考えますが、詳しく説明して欲しい。

A: $f(s)$ はBishopの有効応力 $\chi(u_s - u_w)$ に対応する。自分のモデルでは不飽和土の場合には、土の骨格の硬さを考える場合には $f(s)$ を p に足し込めば良いと考えている。サクションは圧密を邪魔し強度には有効に作用する。Bishopはこの点をそれほど考慮していない。

Q:こうした研究の動機を聞かせて欲しい。

A:土の粘着力について考え始めたのが動機である。

Q:サクションとメニスカスは何がどの様に異なっているのか。どちらが現象のもとであるのか。また、資料12ページの式(22)はセメント改良砂の様に粘着力 c がある材料に対しても成立するのか。

A:粘着力のある場合にも式(22)は良いと思う。その場合、 $f(s)$ の代わりに何か別のものを入れればうまくいくだろう。メニスカスは土粒子の間に三日月状に残る水でありサクションは水を吸い上げる能力である。サクションは0でもメニスカスは残る。

Q:宇野先生のご意見を伺いたい。

A:サクション $(u_s - u_w)$ は空気と水の圧力差であるとのコンセンサスが得られている。

(サクションとメニスカスについて阿部、植下両先生よりそれぞれコメントがあった。)

Q:降雨時の斜面安定で貯留係数を用いなくて安定解析ができるのか。サクションが決まれば計算できるということか。水がどの程度しみ込めばどうなるかということが問題だと思うが。

A:雨が降るとサクションは0となる。連成解析や貯留を考えた透水解析が必要であろう。

A:雨水の浸透は遅いはずなのに、斜面は意外に速く壊れる。単に浸透を考慮すれば良いというものではない。

Q:サクシオンは、不飽和土を三相混合体として考えようとする場合、どのような扱いをすれば良いと思われるか。

A:異質のものが境界面を通して作用を及ぼし合うのを取り扱うのは難しい。基本的データを溜めて組織的に考える必要があろう。

第4回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成2年5月12日（土）

場所：名古屋工業大学

話し手：岡 二三生（岐阜大学工学部）

題目：土における有効応力の原理

配布資料：1)土における有効応力の原理,土と基礎, No. 1796, pp. 11-17.

2)飽和土の有効応力の概念の意義について

出席者：31名

討議司会：板橋一雄（名城大学理工学部）

=====
Q:資料13ページ式(13)について。非排水状態で固体相と流体相の体積ひずみが等しいと置かれているが、一定の応力下では2相の圧縮率の違いによってそれぞれのひずみが決まる様に思う。2相系の分応力を考えるときこの式が一つのキーポイントと思うがどの様に考えれば良いのか。

A:2つの相の体積ひずみが等しくなる様な拘束のもとで力を加えた時、それぞれの相が受け持つ応力を分応力と考えると解釈すべきである。

Q:応力は連続体内の1点において定義されるものである。Terzaghiの有効応力も、本来不均質な土を均質化するといった仮定のもとで定義されている。お話では2相混合体の考え方によってその均質化の過程を明確にし2相の体積変形に注目して有効応力を説明し直しているが、例えばダイレイタンスによる体積変形を伴うせん断の様なことを考えた場合も同じ議論は成り立つのか。

A:理論と実験は別のものである。今日示したことは土粒子および水ともに弾性体として考えている。土粒子を弾塑性体として考えた様な混合体理論も考えられており、それに基づいた議論は可能であろう。しかし極端に難しくなる。2相混合体の立場では連続体力学の枠内で扱える程度に、内部の構造変化、2相間の相互作用が考えられている。土に対して内部構造変化をさらに厳密に表現し、有効応力を使わない様な理論を作ろうとすればほとんど不可能である。

Q:単純せん断を目的とした中空ねじり試験について。高さを一定に保つと全応力は変化するが有効応力は一定になるという試験法がある。豊浦標準砂の様に粒径が揃っていて硬いものは良いが、細粒分を多く含み圧縮性を残しているものについてはメンベネが生じた時、非排水条件が成立しなくなる様に思うが、試験の前提条件としている仮定をそのまま適用しても問題はないか。

A:理論的に示すのは難しいが水の様に非圧縮なもので満たされているので、それほど問題ではないと思う。

Q:不飽和土の有効応力については構成則の中で取り扱えば良いと述べられていますが、もう少しコメントして欲しい。

A:水に加えて空気の存在も考慮し飽和土と同じ様に3つの相についての力の釣り合いを考えても、不飽和土の有効応力はうまく定義できないであろう。実際はサクシオンがあって、土の骨格を堅固にする作用があるからである。そうした効果は実験を重ねて現象論的に構成則の中で記述したら良いということである。

Q:不飽和土の場合、水の有る無しの状態が不均質になっていると考えられる。したがって、水の有る部分で

は今言われた様に土粒子骨格間にメニスカスが存在して結合を強めるが、水が無いところではその様にはなっていないと考えられる。そうした不均質な効果を言われる様に構成則の中で表現するのは、問題があると思うが。

A: 確かにそうかも知れない。現在の混合体理論では構成則の中で扱わざるを得ないということである。そういった事を取り扱うには飽和土に対して有効応力が考えられるまでの過程の様に、やはり実験を重ねて現象に対する理解を深めていくことが必要である。

Q: 浸透破壊を扱うときの様に、浸透流がある場合の有効応力はどの様に考えたらいいか。

A: 全く同じ定義で良い。

Q: 土粒子および水の圧縮性を考慮した形の有効応力の話がされたが、それらが非圧縮であれば Terzaghi の有効応力になるということが結論の一つとなっている。実務において Terzaghi の有効応力を用いる時、どういふ場合にそれで良く、どういふ場合には注意しなければならないか。また、教科書にある有効応力の説明で、間違っていると考えている部分があれば教えて欲しい。

A: 1つ目の質問について。まずは土が飽和状態か不飽和状態かということが重要。

2つ目の質問について。土粒子どうしの接触面積で有効応力を説明しているものがあるが、実際は点接触であるから接触面積は0に近い。その様な説明は説明のための説明であると思う。多くの実験事実の積み重ねの上に立って、Terzaghiは有効応力を考えたということ認識しておくべきである。ただし、全応力 σ は土の単位面積に働く力、 u は水の単位面積に働く力といった様な言い方はおかしい。そうすると有効応力の式 $\sigma' = \sigma - u$ では、ベース(単位)の異なる物の引算で有効応力が定義されていることになってしまう。せめて $\sigma' = \sigma - nu - (1-n)u$ といった様な説明をすべきである。

Q: 教科書の執筆者は先に $\sigma' = \sigma - u$ という有効応力の定義が頭にあって、それをモデル図を用いたりして力のつり合いによって説明していると思う。そのつり合いの考え方は間違っていないと思うが。

A: その通りである。

Q: 言われることは、そういった力のつり合いを考えると、やはり2相混合体の立場から考えるのが正しいということか。

A: そうではない。2相混合体の立場で土を扱おうとするならば、有効応力についても今日話した様に混合体の立場から考えるべきだと言うことである。また、土を扱うなら2相混合体ですべてうまくいくと言うことでもない。特に、土に衝撃力を与える様な問題では、固相と流体相での波動の伝播特性が違うので有効応力ではうまくいかない。

Q: なぜ液状化はおこるのか。直感的にわかりやすく説明して欲しい。

A: 平均有効応力が減少してせん断抵抗が無くなって壊れる過程と理解すれば良い。

Q: 液状化については地震波のどの成分が関与しているのか。

A: せん断波(S波)と表面波であると考えて良い。

第5回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日: 平成2年7月14日(土)

場所: 名古屋工業大学

話し手: 浅岡 顕(名古屋大学工学部)

題目: テルツァギーの有効応力と土質力学

配布資料: 1) 円弧すべり $\phi_s=0$ 「全応力」安定解析

2) 破壊予測の観測的方法

- 3) 有効応力原理と線形弾性理論の応用
- 4) 弾性体と弾塑性体はどこが違うか？
- 5) 透水係数と部分排水効果
- 6) 土～水連成の極限釣り合いの解析

出席者：55名

討議司会：奥村哲夫（愛知工業大学工学部）

=====
 Q: 円弧すべり法は力学的に非常に優れた方法であるということであるが、実務で用いる $\phi_u=0$ 円弧すべり解析は、強度の異方性や部分排水効果など多くの誤差要因があることがよく知られている。そこで、この優れた方法を実際実務に適用するには一体どんな点に注意すれば良いのか。

A: BISHOPが述べている様に、全応力 $\phi_u=0$ 安定解析は考え抜かれた方法である。これは全応力解析と言われるが、有効応力と変形挙動との関係について実に良く考慮した方法である。円弧すべり解析は上界計算と言って良いが、限界状態で体積変化の無い条件を用いると、内部消散率が全応力と有効応力の両方で全く同形式で表される性質がポイントである。しかし、ご指摘の様に強度の異方性や部分排水効果を考慮すると、当然 $\phi_u=0$ 解析は誤差が生じることが分かる。しかし、これらの誤差要因をすべて考慮して行くと、やはり正の要因と負の要因があってトータルとしての精度を期待することもできる。ところが、その程度はやはり問題の境界条件に依存することになる。漸増荷重問題の場合には $\phi_u=0$ 安定解析でも比較的十分な解析解を与えるが、多段階荷重の様に圧密による強度上昇が卓越する様な問題では、特にやはり、 c_u/p を用いた解析等が必要になる。

Q: サンドドレーンが何故効くのかに関して。透水係数が同じ場合により大きな荷重を載荷した方が効果があるというのは、荷重が大きくなると m_v が大きくなることによるのか。

A: その通りである。

Q: k と $1/m_v$ の比例関係とは整合するのか。

A: 本研究の視点は改良された軟弱地盤の挙動の把握にある。ドレーンのある材料の場合には、 k と $1/m_v$ の比例関係が成立するとは思えない。このことに関連してドレーンの打設された地盤について鉛直、水平方向の透水性を考えると、本来異方的な透水係数が等方的になっていると考えている。したがって、本研究では、透水係数を等方的なパラメータ1つによって改良効果を表すよう試みているのである。

Q: 地震時の安定解析への円弧すべり法の適用性についてどう思うか。

A: よく分らない。動的問題では通常用いている力のつり合い式や有効応力の仮説自体が、このままの形では成立しない。しかし、粘土の場合には透水係数が小さいことに起因する非排水条件のために、もしかしたらこのままの形で物体力を作用させる形で解析することが正当であるのかもしれない。何れにせよ支配方程式自体が異なるのであるから、今後の研究を待たなければならない。

Q: 沈下比と透水係数の関係は、何故 10^4 から 10^7 の間で急変するのか。

A: 地球上の軟弱地盤の厚さはだいたい決っている。地盤の厚さと我々の寿命の長さなどによって扱われるべき設計問題は、同じ現象であっても非排水仮定から排水仮定まで様々なモデル化が行われる。すなわち、もし我々の寿命が現在の $1/10$ であればきっと非排水の力学で十分であり、逆に我々の寿命が現在の 10 倍であれば排水の力学で十分なのである。この限られた透水性の領域でたまたま沈下比が著しく変化するからこそ、軟弱地盤の力学が必要になるのである。土質力学というのは特殊な力学で物理学とは全く違う。エンジニアリングなのだと思う。

Q: 浅岡先生のアプローチは、我々の発想とは常に逆だと思ふ。通常は強度と透水係数を正確に調べるのが大事で、その結果として支持力やその他の地盤の変形挙動が分るのであると考えてしまう。それに対して浅岡先生の場合にははじめに支持力や透水係数を知ることが重要であるとして、その結果その他の諸量を知ることが可能になるという論理で全く逆の発想である。他の弾塑性パラメータに対して透水係数はオーダ

一で異なる。そのために透水係数で調べるのが重要であるなどの、我々になじみの深い論理で説明される良いのではないか。

- A: 透水係数の沈下比に与える影響は変化率で与えては意味がない。有限な沈下比の変化に対して透水係数の方は0から ∞ まで変化するのであって、これを変化率で与えては意味がない。重要なのは、やはりどの透水係数のレベルで変化するのかわかることである。そして、その変化するレベルが実際問題として在り得ない様な問題であるのか否かが重要で、それを知るのが研究の発端であった。
- Q: 支持力を同じにする様なパラメータの組であれば、どのパラメータを用いても変形を表せるというのはどう思うか。オーダーで異なる様な透水係数を考慮すると他のパラメータに対して最も劇的な影響を与えるという意味で、透水係数以外は支持力を同じにする様に選べば、変形をある程度合せることができるというのであればよく分かるのだが。
- A: その通りである。有効応力径路の与える影響は確かに大きい。しかし、その一方で圧縮・伸張強度を合せる様に弾塑性パラメータを決めるのは簡単だが、支持力を合せる様に弾塑性パラメータを決めるのは難しい。これは鉛直と水平の中間の強度を合せることが難しいことによる。その意味では円弧すべり解析と、ここでやっている解析との間でどれだけ差異が在るかという疑問である。また、弾塑性パラメータの組で支持力・変形挙動を最も良く表現する透水係数が表してあるが、これについてはこの透水係数に物理的な意味を与えるのではなく、地盤全体の透水係数を表す様な代表的な値でありある種のフィティングパラメータと考えても良い。
- Q: しかし、地盤全体を代表する透水係数が、やはり要素単位の透水係数のなんらかの積分で表される様であれば理想的だと考えるが。
- A: この透水係数は境界条件に応じて定まるもので特殊な透水係数だと考えて欲しい。ローカルな要素の透水性と地盤全体を表す透水係数とは、同じ透水係数という名前がついているだけでその意味が全く異なる。むしろ異なる名前を付けるのが適切ではないのかと考える。
- Q: 圧密中に透水係数を一定として与えているがどうか。
- A: 確かに $e - \log k$ 的な関係式もある。しかし、ここで考えている地盤を代表する透水係数は、載荷直下の体積変化による要素の透水係数の変化によってそれほど劇的に変るとは思えない。
- Q: サンドドレーンの効果を考慮するためにバロンの理論を用いているが、この慣用解析に対して一体どの様な注意を以て設計に当れば良いのか。
- A: ここで述べた方法が、そのまま直ちに設計に結びつくとは考えていない。試験工事についても、いつでも行うことができるというものではない。しかしながら、従来の方が与え得なかった様な知見をこの考え方で幾つかの事例を整理することによって、得られるのではないかと考えている。特に現行設計法が一体どの様なレベルの設計になっているのかわかることができれば、その工学的な意味は大きい。
- Q: ドレーンの有効性についてはどうか。過去の施工報告にはあまりドレーンが効かなかったというものがよく見られるが。
- A: この種の問題では改良地域と未改良地域との距離が問題になる。隣接するなどあまりに近い場合には未改良地域の間隙水圧によって境界での間隙水圧が制約を受けて、改良域の水圧の消散速度が落ちる場合がある。そのために見掛け上、両者の間で沈下量や沈下速度の差異が明確に見られない場合がある。改良効果を確かめるためには、改良地域と未改良地域が影響を及ぼさない様な理想的な状態を用いて比較検討を行わなければならない。
- Q: その理由にしたがうと地盤改良が基盤まで行われずに中途までしか行われぬ時には、地盤改良効果があまり期待できない様に思われるがどうか。
- A: いや、やはり未改良の地盤と比較すると改良の影響は大きい。この場合は中途半端な改良に応じた改良効果が発揮されることになろう。

第6回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成2年9月22日（土）

場所：名古屋工業大学

話し手：関口秀雄（京都大学防災研究所）

題目：海洋土質力学における二、三の話題

配布資料：1) Generation of water waves in a drum centrifuge, Submitted to International Conference CENTRIFUGE 1991, pp. 1- 8

2) 変動水圧に対する海底地盤の間隙水圧応答, 土木学会第45回年次学術講演会, 1990, pp. 1-2

出席者：46名

討議司会：浅岡 顕（名古屋大学工学部）

=====
Q:長崎港の防波堤について。捨石の大きな変形が観測されたと発表があったが、これは洪水時のもの（液状化）と同じものか。

A:いわゆる液状化ではないと思われる。浸透力の影響が大きいのではないか。

Q:長崎港の防波堤は大きな波によって破壊されていると思われるが、普通の海岸防波堤は繰り返しの波のポンプ作用などによってやせ細っている可能性はないのか。

A:不安はある。

Q:海岸堤防は、沈下によって強くなるのか弱くなるのか。

A:粘土地盤は強くなるのであろうが、一概には言えない。

Q:飽和度がかなり高くても、波による水圧の変化に対する応答が遅れるということであるが、では、定常な波があるところで海底地盤の多少深いところではコンスタントな間隙水圧となるのか。

A:定常な波に対する解析はある程度容易だが非定常な波に対する解析は困難である。

Q:液状化解析では応答がすぐ起こるがこれは妥当か。

A:液状化解析でも飽和度の影響は大きい。

Q:発表者が資料2)で結論している海底地盤の飽和度は99.8%（B値=0.90）とかなり高いが、普通の三軸試験などの飽和度は高く出すぎているのか。

A:99.8%の飽和度は決して高くない。液状化試験ではB値=0.90では受け入れられない。

Q:いや、水圧応答から推測するB値とメンブレンを被せたときのB値は同じなのか。

A: $B = 1 / (1 + n \beta m_v)$ 、ひずみ-有効応力関係の立ち上がりのところでは、 $n \beta m_v$ が大きくなってB値が小さくなる。水圧変動のチェックからモデル地盤のB値を判断できる。

Q:遠心力载荷では相似則において粒子の大きさが問題になるが。

A:粒子の大きさが透水係数で表現できる問題と表現できない問題がある。吸い出しなどは粒子に関係する。この相似則は宿題である。また、動的相似則と圧密相似則は矛盾する。透水係数で表現できる問題は水をシリコンオイルなどで置き換えれば相似則の満足は可能である。

Q:1. 混成堤の安全性は低いのか。

2. 長崎港の様な問題が起こった時には、どう対処すべきか。

A:1. 外国では混成堤の評価は低い。日本では捨石の数が足りない。

2. 長崎港では新規に矩体を作り（ずんぐり）捨石マウンドの幅を広くした。

Q:（長崎港で）堤幅を広くしたのはどういう意味があるのか。

A:滑動に対する安全性を高めたということである。

Q:通常混成堤を設計する場合、滑動・転倒などを独立に計算するが、実際の破壊は複合事象である。実際の

設計をする場合には、どの様な注意をしたら良いのか。

A:1. 海岸堤防は自然の盛り上がりをもそのまま使用するため、強度はあっても変形し易い土に注意すべきである。

2. 多少(2、3°)傾いても良い様にすべきである。

3. 普通、滑動に最も注意が必要だが、破壊がある程度進むと転倒に注意が必要である。

Q:なぜ(海岸堤防の)ケーソンは波が一方向から来るだけなのに、左右対称なのか。(重力ダムのような形では駄目なのか。)

A:我が国の海岸堤防は、多目的利用(船の係留など)されることが多いためである。

Q:長崎港では複合地盤の変形も観測されているのか。

A:観測されていない。

Q:海底地盤は波の水位が下がった時が危ないと発表されているが、これはダムが水位急低下時に危険なのと同じ現象か。

A:同じ現象である。

Q:海岸堤防を作る場合に、こういう点だけは注意すべきだということはあるか。

A:防波堤は従来、水が専門の人が設計しているために土に対する配慮が欠けがちである。土の専門家が設計すれば土への気配りは利くであろう。波と土の中の水の連動が興味深い。

Q:実際海岸堤防を作る場合の心構えは。

A:なんらかのことが起こった場合に、対応が採れる様にすべきである。

Q:海岸堤防の土質について、ケースヒストリーをデータベース化する予定はあるか。

A:ある。現在、被災防波堤のケースヒストリー集は存在するが、土についての記載がないのが問題である。

Q:長崎港の地形から考えて、長崎港の防波堤は波を集め易い配置になっていると思われる。配置を変更した方が良いのではないか。

A:配置を決めるのは大きな問題である。実際問題として堤の配置は他の人が決めるのだが、防波堤の最適設計を考える上では考慮すべき問題である。

Q:混成堤のマウンドの破壊は、ケーソンの運動と海底地盤の間隙水圧の上昇のどちらが効くか。

A:今は分からない。

Q:長崎港の災害から関西国際空港への教訓はあるか。

A:特になし。大阪空港は内海なので、波の問題は少ない。高潮に対する問題だけである。

Q:ニースでは海に向かって地層が傾斜し、表面の粘土層の下の砂礫層内の被圧地下水の存在が問題となる。大阪ではどうか。

A:一般に日本国内では傾斜した緩い堆積層が存在し問題となることが多い。しかし、大阪では海底勾配が1/20程度で問題とならない。

Q:遠心実験での間隙水圧の測定方法は。

A:Druckの水圧計(φ5mm)を用い同じ位置での深さ方向の変化を知るために斜めに穴を開け、水圧計を埋め込む(3ヶ所)ものである。

Q:実験中に水圧計の移動はないか。

A:肉眼で見たところでは移動はない。

Q:実験地盤の作成方法は。

A:遠心载荷機を回して地盤を作り一旦止めて水圧計をセットした。

Q:遠心载荷実験の長所と短所は。

A:例えば、1000gを载荷させれば100mの地盤が0.1mと見なせる。有効応力が現実的な応答をするのが長所である。遠心実験がベイするかどうかはクリティカルな問題である。複雑な構造物の挙動を調べるためには向かないであろう。また、実際問題としては荷重履歴が重要なのでこれを無視することはできない。

Q: 日本では混成堤を捨石で置き換えることは経済的に不可能なのか。

A: 混成堤は圧倒的に安価である。

第7回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日: 平成2年11月10日(土)

場所: 名古屋工業大学

話し手: 荒井克彦(福井大学工学部)

題目: 土質力学と逆解析

配布資料: 1) 逆解析, 土と基礎, Vol. 37, No. 6, pp. 113-114, 1989

2) Simple Optimization Techniques for Evaluating Deformation Moduli from Field Observations

3) Estimation of Soil Parameters Based on Monitored Movement of Subsoil under Consolidation, Soils and Foundations, Vol. 24, No. 4, pp. 95-108, 1984

4) Application of Back-analysis to Several Test Embankments on Soft Clay Deposits, Soils and Foundations, Vol. 26, No. 2, pp. 60-72, 1986

5) Estimation of Nonlinear Constitutive Parameters Based on Monitored Movement of Subsoil under Consolidation, Soils and Foundations, Vol. 27, No. 1, pp. 35-49, 1987

6) 逆解析における確率的手法と直接法の比較, 第34回土質工学シンポジウム, 1989

7) Parameter Estimation of Unconfined Aquifer by Measuring Change of Groundwater Level, Soils and Foundations, Vol. 25, No. 4, pp. 129-134, 1985

8) トンネル内空変位計測に基づく地盤変形・強度定数の推定, 土質工学会論文報告集, Vol. 24, No. 2, pp. 171-179, 1984

9) トンネル工事における情報化施工の適用, Vol. 24, No. 4, pp. 211-217, 1984

出席者: 26名

討議司会: 河邑 眞(豊橋技術科学大学)

=====
Q: 配布資料4ページで、地盤の沈下の観測から弾性係数、ポアソン比、透水係数を推定している。ここで盛土が終了した後まで沈下の観測を続けないと、妥当な係数を推定できないと結論されている。しかし、それらの係数は圧密の進行に伴い変化していくのではないか。

A: 基本的には、現在までの観測から時々刻々と推定していけば良いのではないかと考えている。これならたとえ非線形の変形であろうと線形弾性で推定できる。配布資料4)を見て下さい。

Q: 配布資料11ページで逆解析の直接法と確率的手法を比較し直接法の有利な点を指摘している。実際問題としては観測データが少ないことがあるが、例えば求めようとする量の方が多様な時には確率的手法の方が利点を有する場合があるのではないか。また、配布資料11ページで三層からなる地盤の弾性係数などを確率的手法で推定している。他の観測点ではバランスしているのに、中央の沈下だけがあたかも連続載荷を受け続ける様に予測するのはなぜか。

A: データが少ないときにも直接法の方が良い。確率的手法だと推定が著しくずれることがあるからである。また、図24で真ん中の層の推定値が間違っているのは局所的な最適値を選んでしまったからだと思われる。局所的な最適値を如何に脱出するかも問題である。

- Q: 物理定数を推定する場合、実務的には制約条件を付けるのが合理的ではないか。そうすれば、確率的手法でも発散を抑えられるのではないか。
- A: 弾性係数などは広い範囲に存在すると予測されるので制約条件を付けるのは難しい。当然ポアソン比などは付けても良いであろう。しかし、制約条件付きの問題を確率的手法で解くことは難しい。直接法なら簡単である。
- Q: 配布資料の6ページで逆解析で推定した弾性係数と室内実験の結果の弾性係数を比較している。逆解析で推定したものの方が良い物性値なのか。
- A: 地盤の構成が非常に複雑な場合は、サンプリングしたものを室内実験しても全体を把握するのは難しい。逆解析なら平均的な値が得られる。
- Q: では、地盤の構成が複雑であったりトンネルなどで節理が多いときには、逆解析が有利だと考えて良いのか。
- A: その通りである。
- Q: 配布資料の6ページの図4-(b)で逆解析で推定した弾性係数と室内実験で得た弾性係数はかなり違うが、どちらが間違っているのか。
- A: 逆解析の方が、応力レベルに合った値を出しているのではないかとと思われる（線形弾性を仮定しているため、応力レベルにより弾性係数が変わる）。室内実験でも応力レベルを考慮して行えば良い値が出るとと思われる。
- Q: 線形弾性と直接法という組合せの単純さが本解析のメリットと思われるが、どんな材料でも線形弾性と見ても良いのか。
- A: もちろん線形弾性を仮定して得られた弾性係数とポアソン比は、仮想的なものである。しかし、それで良いという考え方もある。モデルを複雑にして物理的意義のある物性値を求めるか、簡単なモデルで仮想的な変数を求めていくかは哲学の違いである。
- Q: 土の見かけの変形係数は拘束圧に比例的に変化するのによく知られている。このような自明のことを逆解析に取り入れることはできないのか。
- A: 応力をパラメータにして変形係数を上げることはできない。しかし、ひずみをパラメータにすれば可能である。
- Q: 拘束圧の変化で主応力差一軸ひずみ関係は大きく変化するが、この性質を追うことはできるのか。
- A: できない。直接法で逆解析を行うためには応力をパラメータにせずひずみをパラメータにしなければならない。逆解析を生かすためには逆解析なりの土質力学の体系が必要である。
- Q: 逆解析はなぜ斜面に適用例が無いのか。
- A: 適用例が無いことはない。しかし、基本的には斜面の問題は安定の問題で変形の問題ではないと思う。
- Q: トンネルも変形の問題ではなく破壊の問題ではないかと思うが。
- A: その通りである。したがって、強度らしきものは求めるが、 c 、 ϕ を求めることは難しい。
- Q: 強度が求められるというのは、応力-ひずみ関係に双曲線を仮定するからなのか。
- A: その通りである。
- Q: 計測の管理基準との関係で逆解析はできないのか。
- A: 可能性はある。計測を有効に利用する方法はできると思う。
- Q: 圧密の逆解析問題で、有限要素に四角形2次要素を用いたときうまくいかないとの発表があったがどういうことなのか。
- A: 変位と間隙水圧の両方に、2次要素を用いたときがうまくいかなかった。これは、間隙水圧の変化は線形的であるのにそれを2次式で補間するのがいけないのだと思われる。また Biotの圧密の連続条件式で、変位は位置についての1階微分なのに間隙水圧は2階微分なので、変位の補間関数は間隙水圧の補間関数より1次高次の方が良いのではないかと予想される。

第8回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成3年1月19日（土）

場所：名古屋工業大学

話し手：太田秀樹（金沢大学工学部）

題目：軟弱地盤の変形解析

配布資料：1)軟弱地盤のパラメタ同定法

2)Performance of Soft Clay Foundations under Construction

出席者：39名

討議司会：河村精一（中部電力）

=====
Q:プレッシャーメーターは三軸と比べて強度が大きくなるということであるが、それは、K0-試験で三軸の強度を求めたものと同じになるかという問題だと思われる。しかし、プレッシャーメーターでは変形はまわりから土によって拘束されており、K0-圧密というのはK0-圧密状態を保っているつもりにもかかわらず、応力の境界条件の違いでプレッシャーメーターの強度の方が大きくなるという原因は考えられないのか。K0-試験自体が実際の境界条件と違っているために、仕方の無い強度の差がでてくるのではないか。

A:その通りである。応力で境界条件を与えながらコントロールする三軸試験と、変形のかたちで拘束条件が与えられている現場とではずいぶん違う強度がでると思われる。

Q:それにも係わらず、プレッシャーメーターの値を使って理想的な計算をしても良いのか。

A:以前マーチン・ファヒという人と議論をしたことがある。それは、例えばドラム缶の様なものの中に砂を一杯に入れて杭を打ち込むという実験をすれば、杭の直径とドラム缶の直径とがどれくらいの比なら、外側のドラム缶に影響が出ないかという議論であった。今の質問と全く同じ問題であるが、そのマーチン・ファヒの指摘というのは、普通言われている比よりもずっと離れないとかなりの影響がでるという主張である。私は10倍も離れば良いのではないかと思っていたが、実際彼の大学へ行って実験、計算をしてみると、驚くほど離れないと影響がでてしまった。質問の通りである。ただどれくらい影響がでるかという、これは境界条件によって異なり、我々が考えている位よりもずっと広い範囲に影響を及ぼすというのが事実だと思われる。

Q:盛土と掘削の沈下では掘削の方が良く合っている様であるが、なぜ合うのか。掘削において、沈下に土の特性はどれだけ効くのか。

A:連壁はたいへん硬い。連壁の挙動は連壁そのものの硬さによって決まる。その周りの軟弱地盤には殆ど影響は現れない。これは逆解析によって確かめることができる。意外と土の性質は効いてこない。沈下の時は連壁の性質が大きいのは確かである。

Q:P1盛土を解析するとき、他の盛土の影響は考慮されているか。

A:影響は絶対にあると思われる。しかし、計算上は入れていない。

Q:現場では有限要素法などは高価で使えないので、現実には m_v 、 c_v で計算を行うが、現場で精度良い解析をするにはどうしたら良いか。

A:答はない。発注形態の問題と関係があるので、こうであれば良いと簡単に答えられる問題ではない。けれども1940年代、1950年代のアメリカ土木学会の論文集を見ると、こうすればこうなったという単純な報告が多く、特に理論が書いてあるわけではない。Terzaghi and PeckもASCEに論文を出している。貯炭場の側方流動を杭で止めるだけの論文である。こういう論文（報告書）をできる限り出すということが大切であろう。

Q:盛土の解析は2次元解析である。影響領域を盛土幅の5倍位とらないといけないということであるが、3次元解析の時はどれ位の範囲の影響を考えれば良いのか。

- A: 本来3次元解析をすべきである。しかし、精度を良くやるには容量が足りず、また、3次元の解析をしたがやはり良く合わなかった経験がある。まだまだ3次元の問題は解けないのではないか。
- Q: 計算機容量と計算時間を知りたいが
- A: NEWSで数日を要した。
- Q: 試験機 の速度効果についての説明は、構造物によって違うという意味なのか。
- A: それは境界条件として入れることができるので、パラメータには二重に入れる必要はない。
- Q: 橋梁の設計で杭のバネ定数を決めるとき、N値から推定したバネ定数と、エネルギー試験から推定したバネ定数と2通りある。常にN値から決めたバネ定数とエネルギーから決めたバネ定数と比較しているが、砂質地盤の場合ではあまり大きな差はない。それが粘土では、エネルギーから決めたバネ定数が、N値から決めたバネ定数と比べてかなり小さく(半分位)なる。これは速度効果の影響なのか。
- A: 土をバネと置き換えるのはたいへん実用的な考え方である。けれども、私自身は地盤をバネと考えてみたことがないので良く分からない。破壊の問題は、初期状態が入っていない。現在の状態が分からないのに破壊は予測できない。これらの問題は、すべり線 の概念などによる卓抜したアイデアで克服されている。バネについても同様で、バネが正解であるはずがない。しかし、技術者の優れたアイデアであるはずである。正直な報告の積み重ねが重要であると思う。
- Q: エネルギー試験は速度補正はできないのか。
- A: 面白いと思う。正解がわからないので補正をするのは難しいと思うが、私は非常に興味がある。
- Q: 現実には c_v 、 m_v を操作して沈下を合わせる事がある。そうすると確かに一致する。しかし将来にはどうなるのか良く分からない。これについてどう思うか。
- A: 圧密理論は非常にすばらしいと思う。しかし、理論が間違っているから補正が必要になる。現実には仕方がないと思う。 c_v 、 m_v では抜本的に良いものにはならないと思う。わたしなら c_v を操作する。
- Q: 盛土の事例はどの様にパラメーターを決められたのか。PIだけなのか。
- A: 実測されている実験データをフルに使っている。一軸のデータも先ほど述べたような方法で補正をして、それをK0-圧密、三軸圧縮試験に翻訳しなおして、それに理論値を当てはめてパラメーターを逆に決定するという方法である。
- Q: そうすると基本的な試験は何を行えば良いのか。
- A: ベーラムの補正法を詳細に検討すると、先行荷重の0.23倍が土の強度であった。これは実験しなくても良いという例である。今の土質試験の基礎・種類についてはもっとよく考える必要があると思う。安い実験を多く行うというのが私の好みである。実際のSoil Profileが全く異なるなどということはよくあることである。
- Q: 掘削の場合は過圧密の塑性域に入るが、この構成式はこの様なところは不得手なはずだが、良く実験値と合うというのはどういうことなのか。
- A: 盛土を解析する場合と掘削を解析する場合1つだけパラメーターの選び方を代えて行っている。 $A=1-C_v/C_e$ というパラメーターがあり、盛土の時には $C_v/C_e=0.3$ とした。しかし、このままでは掘削では合わない。掘削には $C_v/C_e=0.1$ としたら良く合った。理由は良く分からない。たぶん構成式が良くないのだと思われる。掘削ではヒーピングが、計算と実測は全然合わなかった。ヒーピングは実測しにくいものである。計算値は非常に過大な値を与えているのではないか、という疑問がある。
- Q: c_v を10倍にすることは、室内試験と現場試験とでは透水係数が10倍位違うということと同じことなのか。
- A: その通りである。
- Q: たとえば、三軸試験を行うよりも安い試験を多く行うというのは、要素の性質を見ても全体の性質は分からないという立場であるのか。
- A: パラメーターを決めるというのは、人間の性格を決めるということと同じことであり、たとえば人間にいろんなテストを行うと、何らかの反応を示すであろうしデータも取れるであろう。それを元に人間の性格

を分析しても、あまり大したことは分からないであろう。それよりは、日頃つき会っていて性格を分析した方が、おそらく正しい性格に近いものがでるであろう。こういう主旨である。

第9回土質力学研究委員会シンポジウム討議記録

開催日：平成3年3月15日（金）

場所：名古屋工業大学

話し手：龍岡文夫（東京大学生産技術研究所）

題目：最近の補強土工法について

配布資料：1)補強土工法のメカニズムと設計計算法

2)短い面状補強材と剛な壁面を有する砂質土盛土の載荷試験（その1）、土木学会第45回年次学術講演会

3)短い面状補強材と剛な壁面を有する砂質土盛土の載荷試験（その2）、土木学会第45回年次学術講演会

出席者：39名

討議司会：阿部広史（信州大学工学部）

=====
Q:土を締固める際、早く締めるのに適当な薬剤はあるのか。

A:薬剤について分からない。

しかし、もし粘性土を補強材を入れて締固めると

- a. 水が抜けやすい
- b. 一次元圧密（圧縮）させ易い
- c. 層厚管理材として用いられ、施工管理が良い
- d. 機械の使用可（法肩）

なので、よく締固まる。

Q:基礎地盤が軟弱なときにはどうしたら良いのか。

A:基礎地盤は補強土で解決する問題ではない。地盤改良する必要が有る。

Q:その時、盛土の下部に引いたらどうか。

A:ひずみが正（圧縮ひずみ）だったら効果があるはずない。砂地盤なら、ひずみが負なので非常に効果がある。

Q:極限解析を行う上で、補強材の特性をどうやって入れれば良いのか。

A:剛なものほど引っ張り力が出る。あるひずみを決めて、ヤング率を決定するしかない。

Q:不織布を使用した場合はどうか。

A:不織布はやはり良くない。不織布を補強したものを使った方が良い。それなら、ある程度ヤング率がある。

Q:一般の擁壁との違いはどうか。補強材で囲まれたところを補強領域と考えたら、壁の根元の応力集中はどうか。

A:多少考える必要があると思うが、重力擁壁を考えると重力擁壁の方が重いからやはり重力擁壁の方が大きい。

Q:剛な壁とフレキシブルな壁だと、フレキシブルな壁の方が強い時があると思うが。

A:材料が弾-完全塑性材ならありえるが、実際の砂は弾-完全塑性材ではなく、ピークを過ぎたら強度が急に落ちるので、剛な壁の方が強いと思う。

Q:補強材を入れる数についてはどう考えるか。

A:実際には、壊れるときには補強材が引きちぎれるのではなくて引き抜きで壊れる。それならボンド領域が大きい方が良く、圧縮破壊なら多く補強材があった方が良い。だから細かいのが多くある方が良い。現実には締固め層ごとに入れると良い。

Q:上方は長く、下方は短くという様なうまい補強材の入れ方はあるのか。

A:効かない補強土は上方を長く下方を短くし、補強材の右端がφの角度でそろうことである。全体的に滑る。この逆だと、荷重が乗ったときに上の方で壊れることが考えられる。

Q:関東ロームは、高含水比であるが施工性はどうか。

A:含水比120%。上で述べた補強土の締固め特性、a、b、c、dが効いて施工性は非常に良い。

Q:1. 引っ張り補強材で考えるのがすべてなのか。曲げ、せん断補強材ではだめなのか。

2. 普通の理屈で説明できない様な状況には出会わなかったか。

A:1. 土ではヤング率が小さいので、鋭いせん断変形や曲げが起きない。したがって、大きなせん断抵抗や曲げ抵抗は発生しない。それらの補強材ではだめである。

2. ヤング率が同じゴムと不織布を挟んだ土の平面ひずみ圧縮試験を行ったら、全然違う結果を得た。柔らかい材料ではポアソン比が重要である。

(なお、この討議記録の作成にあたっては幹事委員の大塚 悟 氏、京谷 孝史 氏、大野 研 氏に多大の御協力を得た。記して謝意を表する。)

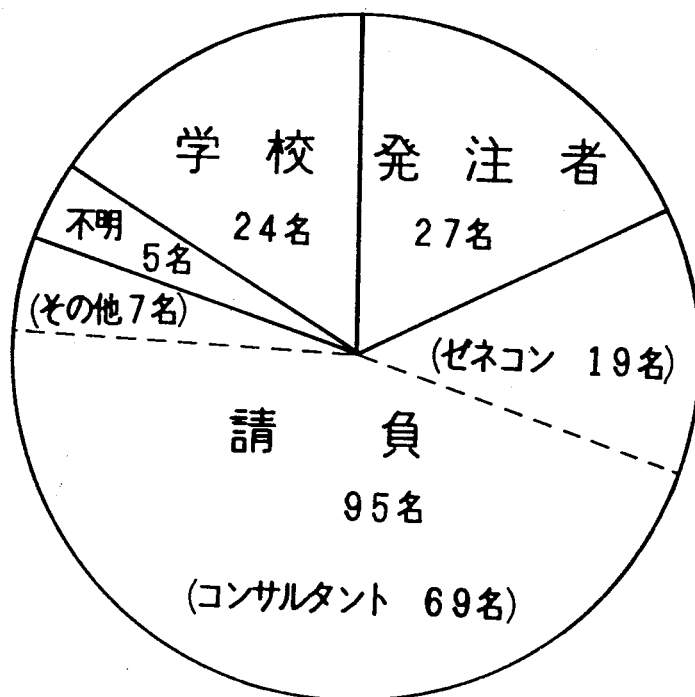


図-1 一般委員(一般聴講者)151名の構成

土の変形と破壊——その統一的理解

名古屋工業大学 正会員 松岡 元

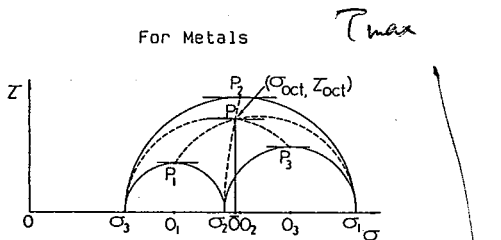


図-1 45°面上と正八面体面上の垂直応力とせん断応力 (Satake, 1978)

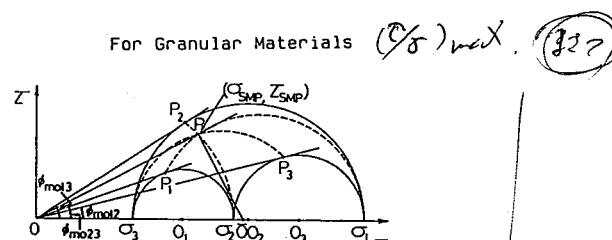


図-3 滑動面上と空間滑動面(SMP)上の垂直応力とせん断応力 (Satake, 1978)

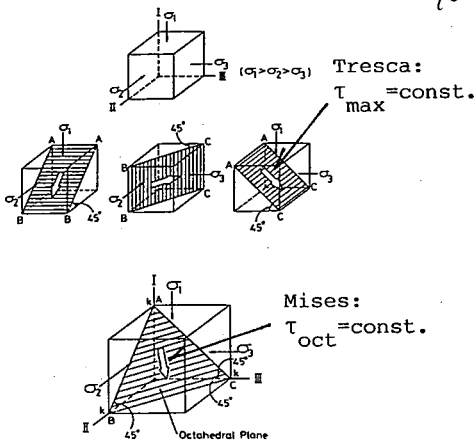


図-2 3個の45°面と正八面体面

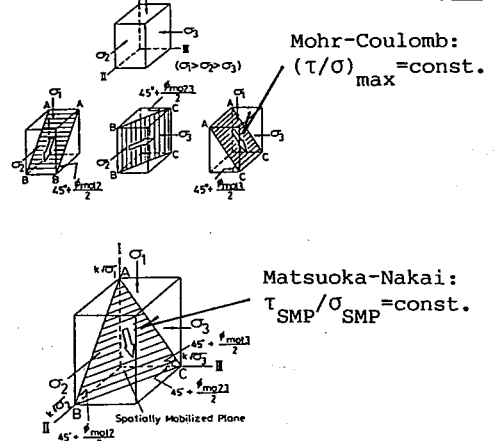


図-4 3個の滑動面と空間滑動面(SMP)

Tresca criterion:

$$\tau_{\max} = P_2 O_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \text{const.}$$

二最大主応力の差

Mises criterion:

$$\tau_{\text{oct}} = P\bar{O} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}\right)^2} = \text{const.}$$

Mohr-Coulomb criterion (c=0):

$$(\tau/\sigma)_{\max} = \tan \angle P_2 O_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \sqrt{\sigma_1 \sigma_3}} = \text{const.}$$

Matsuoka-Nakai ("SMP") criterion (1974):

$$\tau_{\text{SMP}}/\sigma_{\text{SMP}} = \tan \angle P\bar{O}\bar{O}$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2 \sqrt{\sigma_1 \sigma_2}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2 \sqrt{\sigma_2 \sigma_3}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2 \sqrt{\sigma_3 \sigma_1}}\right)^2} = \text{const.}$$

$\leftarrow \frac{J_1 \cdot J_2}{J_3} = \text{const}$
同値 *in dimension*

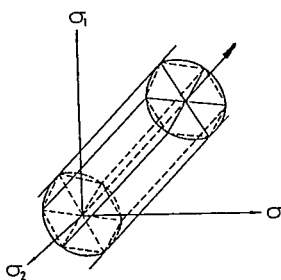


図-5 トレスカ規準とミーゼス規準

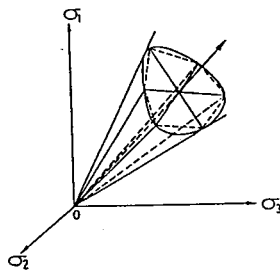


図-6 モール・クーロン規準と松岡・中井(SMP)規準

A Unified Theory of Soil Deformation and Failure ;
Hajime MATSUOKA (Nagoya Institute of Technology)

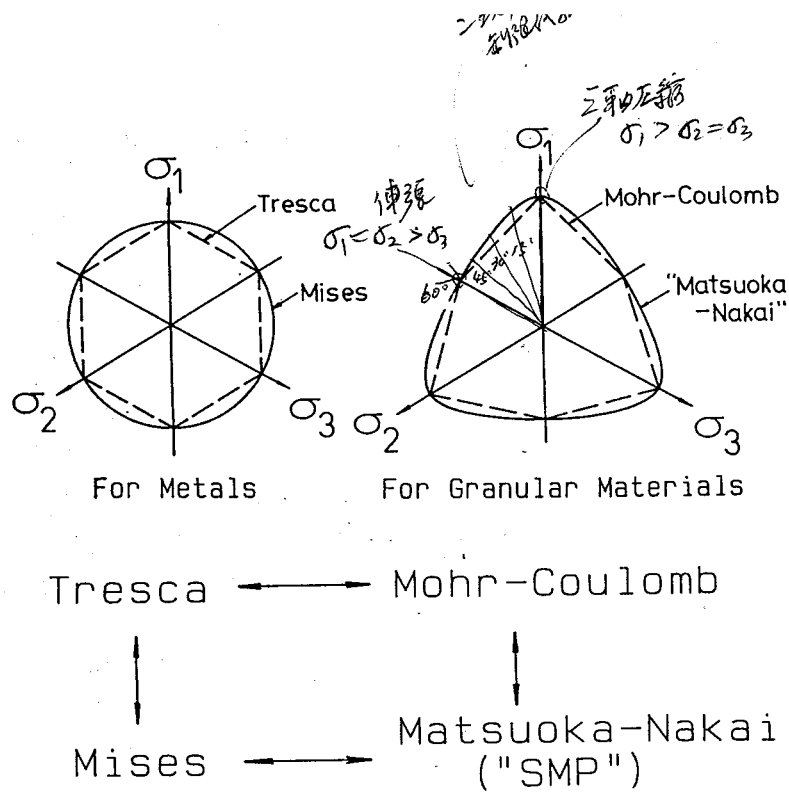


図-7 正八面体面上で表したトレスカ、ミーゼス、モール・クーロン、松岡・中井(SMP)規準の相互関係

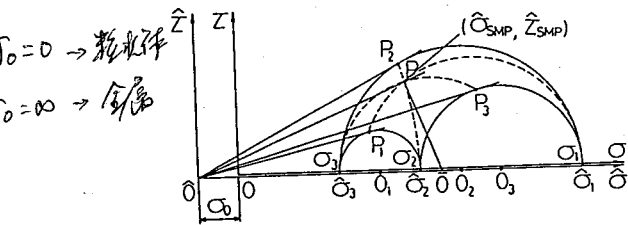


図-8 拡張された空間滑動面(Extended SMP)上の垂直応力とせん断応力

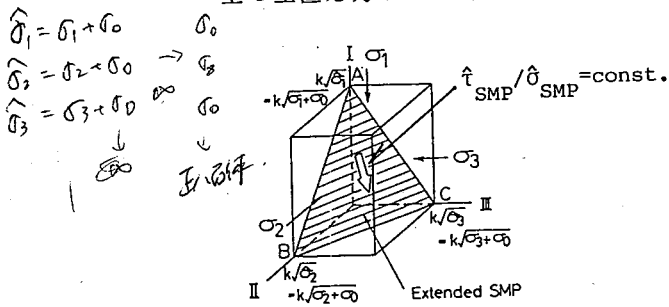


図-9 粘着成分を有する摩擦性材料のための拡張された空間滑動面(Extended SMP)

$$\frac{\hat{\tau}_{SMP}}{\hat{\sigma}_{SMP}} = \sqrt{\frac{\hat{j}_1 \hat{j}_2 - 9 \hat{j}_3}{9 \hat{j}_3}}$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2}{4(\sigma_1 + \sigma_0)(\sigma_2 + \sigma_0)} + \frac{(\sigma_2 - \sigma_3)^2}{4(\sigma_2 + \sigma_0)(\sigma_3 + \sigma_0)} + \frac{(\sigma_3 - \sigma_1)^2}{4(\sigma_3 + \sigma_0)(\sigma_1 + \sigma_0)}}$$

= const.

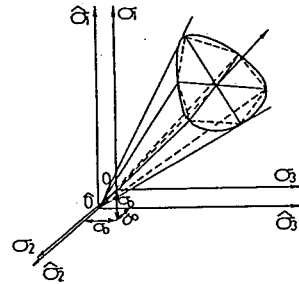


図-10 拡張された空間滑動面(Extended SMP)に基づいた粘着成分を有する摩擦性材料の破壊規準

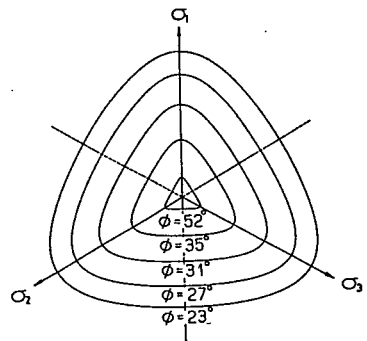


図-11 正八面体面上の破壊規準の形